



Title	画像の改良型ブロック直交交換法
Author(s)	呉, 志雄; Wu, Zhi-xiong; 下野, 哲雄 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 135, 65-72
Issue Date	1987-05-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42035
Type	departmental bulletin paper
File Information	135_65-72.pdf



画像の改良型ブロック直交変換法

呉 志雄 下野 哲雄
北島 秀夫 小川 吉彦
(昭和61年12月27日受理)

Modified Block Transform Coding of Images

Zhi-xiong WU, Tetsuo SHIMONO,
Hideo KITAJIMA and Yoshihiko OGAWA
(Received December 27, 1986)

Abstract

The block transform coding techniques are considered to be efficient in irreversible compression of images. In block transform coding the image is segmented into blocks, and transform coding is applied to each block separately and independently. It achieves the reduction in computing complexity. On the other hand, significant autocorrelations will remain because of the segmentation of the image into small blocks, and an aggravating side effect called an block effect may be observed as a result of independent coding of each block. To remove these side effects, we propose in this paper a modified block transform coding technique in which we make use of inter-block of the autocorrelations by transforming the transform coefficients to achieve a high compression rate or a high SNR. A simulation shows satisfactory improved performance of the proposed method over the traditional block transform coding techniques.

1. はじめに

画像データの圧縮手法は基本的に異なる二つのカテゴリーに分けることができる。一つはDP CM, ベクトル量子化法, 予測符号化法などの画像データ間の冗長性を利用する圧縮手法である。これらの手法は, 圧縮率を高めて行くと, 画質が急速に悪化する弱点がある。もう一つは, 画像データの多くの情報をできるだけ少ないデータに集中するように, データの変換 (一般に直交変換) を行なう手法である。KLT, DFT, DCT などはこの種である。この種の手法は, 大量の演算が伴うので, 高速化が大きな問題となっている。

その改善法の一つとして, ブロック変換法が研究されている。一般的なブロック変換法は, 画像データをサブブロックに分割し, それぞれのブロックに対して独立に直交変換を施す手法であ

る。それぞれのブロックに関して独立に直交変換を施すので、“ブロック効果”と呼ばれる圧縮復元画像にブロックとブロックの継ぎ目が見える現象が現われる。同時に、ブロック分割によって、画像情報の集中度が低減してしまう。そこで、本論文では、従来のブロック直交変換後の各ブロック内の同一周波数成分を集め、それらの同一周波数成分間に残された相関を利用して、もう一回ブロック直交変換を施し、情報を集中させる“改良型ブロック直交変換法”を提案する。また、その圧縮効果を、直交変換として余弦変換を用いてシミュレーション実験により示す。

2. ブロック直交変換領域での画像の相関性

本論文では、画像データがゼロ平均で、単位分散を持つ確率過程であるとモデル化し、更に、画像の縦方向と横方向に同様な相関係数を持つと仮定する。すなわち、

$$E \{x(i, j)\} = 0, \text{ for all } (i, j) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\sigma^2 = E \{x^2(i, j)\} = 1, \text{ for all } (i, j) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\begin{cases} \rho_H = E \{x(i, j) \cdot x(i+1, j)\} \\ \rho_V = E \{x(i, j) \cdot x(i, j+1)\} \\ \rho_H = \rho_V = \rho \end{cases} \quad \dots\dots\dots (3)$$

任意の二点の画像データ $x(i, j)$ と $x(i', j')$ の間の自己相関は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} R_x(\alpha, \beta) &= E \{x(i, j) \cdot x(i', j')\} \\ &= \rho_H^{|\alpha-1|} \cdot \rho_V^{|\beta-1|} \\ &= \rho^{|\alpha-1| + |\beta-1|} \\ &= \rho^{|\alpha| + |\beta|} \quad \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

図1に示すように、一枚の $M \times M$ の要素を持つ画像を $M \times M$ のブロックに分割し(a)、それぞれのブロックに対して独立に二次元の直交変換を施す(b)。更に、変換領域での各ブロックの同じ成分(同一周波数成分)を集め、周波数成分毎のブロック(c)を構成する。

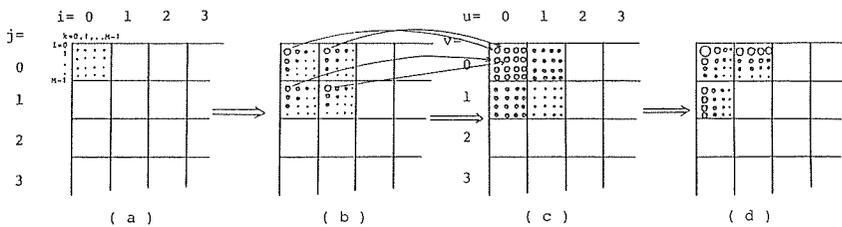


図1 改良型ブロック直交変換説明図

図1の(a)の (i, j) 番目の画像データを $[X(i, j)]$ とし、直交変換関数を $[\Phi(u, v)]$ とすると、 (i, j) 番目のブロックの変換領域での (u, v) 番目の周波数成分の値 $F^{(i,j)}(u, v)$ は $[x(i, j)]$ と $[\Phi(u, v)]$ との内積で表される。

$$\begin{aligned} F^{(i,j)}(u, v) &= [x(i, j)] \cdot [\Phi(u, v)] \\ &= \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{M-1} x(M \times i + k, M \times j + l) \cdot \varphi^{(u,v)}(k, l) \quad \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

図1の(c)の (u, v) 番目のブロック内の任意点 $F^{(i,j)}(u, v)$ と $F^{(i',j')}(u, v)$ との間の自己相関は、次式で表すことができる。

$$\begin{aligned}
 R_F(u, v, i-i', j-j') &= E \{ F^{(i,j)}(u, v) \cdot F^{(i',j')}(u, v) \} \\
 &= \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{M-1} \sum_{k'=0}^{M-1} \sum_{l'=0}^{M-1} R_x \{ M \times (i-i') + (k-k'), M \times (j-j') + (l-l') \} \varphi^{(u,v)}(k, l) \varphi^{(u,v)}(k', l') \\
 &= \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{M-1} \sum_{k'=0}^{M-1} \sum_{l'=0}^{M-1} \rho^{|M \times (i-i') + (k-k')| + |M \times (j-j') + (l-l')|} \varphi^{(u,v)}(k, l) \varphi^{(u,v)}(k', l') \\
 &\dots\dots\dots(6)
 \end{aligned}$$

N=M=8, ρ=0.95 と仮定し、二次元の余弦変換関数を用いたときの同一周波数成分で構成されたブロック(図1の(c))の縦方向の隣接成分間の相関値 R_F(u, v, 0, 1)および横方向の隣接成分間の相関値 R_F(u, v, 1, 0)は、それぞれ表1の(a), (b)に示す。なお、表1に示された相関値は R_F(u, v, 0,0)により正規化されたものである。

$$R_F(u, v, 0, 1)$$

v \ u	0	1	2	3	4	5	6	7
0	.766	.766	.766	.766	.766	.766	.766	.766
1	-.127	-.127	-.127	-.127	-.127	-.127	-.127	-.127
2	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001
3	-.010	-.010	-.010	-.010	-.010	-.010	-.010	-.010
4	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
5	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002
6	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
7	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

$$R_F(u, v, 1, 0)$$

v \ u	0	1	2	3	4	5	6	7
0	.766	-.127	.001	-.010	.000	-.002	.000	.000
1	.766	-.127	.001	-.010	.000	-.002	.000	.000
2	.766	-.127	.001	-.010	.000	-.002	.000	.000
3	.766	-.127	.001	-.010	.000	-.002	.000	.000
4	.766	-.127	.001	-.010	.000	-.002	.000	.000
5	.766	-.127	.001	-.010	.000	-.002	.000	.000
6	.766	-.127	.001	-.010	.000	-.002	.000	.000
7	.766	-.127	.001	-.010	.000	-.002	.000	.000

表1 同一周波数成分ブロック内の縦方向および横方向の隣接成分間の相関

3. 改良型ブロック直交変換法

表1から分かるように、 $(u, v)=(0, 0)$ のブロック（直流成分）に関して、縦方向にも、横方向にも、大きな相関が残されている。 $(0, v)(v=1, 2, \dots, M-1)$ のブロック、または $(u, 0)(u=1, 2, \dots, M-1)$ のブロックに関しては、横方向または縦方向にのみ大きな相関が残っている。それらの残された相関を利用して、本論文では、図1の(a)~(c)に示したように画像データをブロックに分割し、各ブロックに対して、二次元の直交変換を施し、変換後の各ブロック内の同一周波数成分を集め、周波数成分毎のブロックを構成する。更に、直流成分のブロックに対して、二次元の直交変換を施し、 $(u, 0)$ および $(0, v)(u, v \neq 0)$ の周波数成分のブロックに対して縦方向および横方向に一次元の直交変換を施す（図1の(d)）“改良型ブロック直交変換”を提案する。本方法を用いることによって、演算量があまり増加せずに、画像のエネルギーが大幅に集中でき、高圧縮率または高SN比が得られる。

図2は 32×32 の画像モデルを余弦変換した後のエネルギー分布と、 8×8 のブロックに分割し従来のブロック余弦変換後のエネルギー分布と、本論文で提案した手法によるブロック余弦変換後のエネルギー分布との比較図である。図2の変換後の各要素の分散を大きい順に、等間隔に並べて構成されたものである。

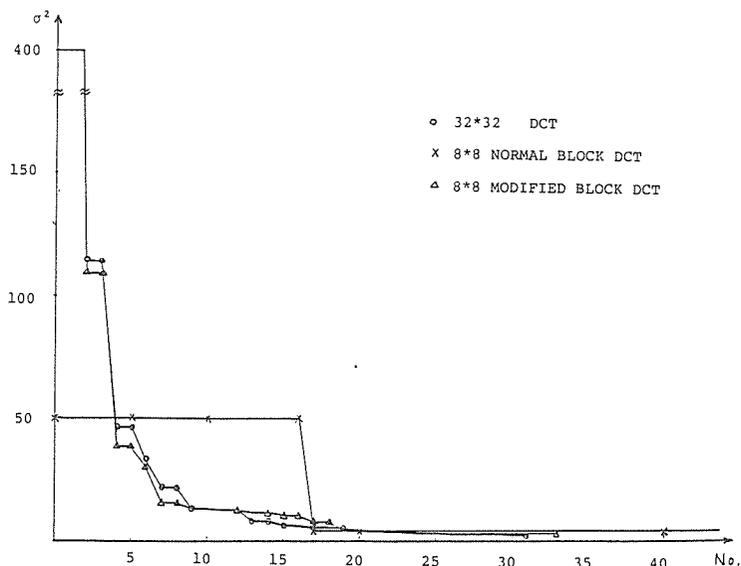


図2から、本論文で提案した手法によるエネルギーの集中効果は、画面全体を同時に余弦変換を行った場合のエネルギーの集中効果にかなり近いことが分かる。エネルギーを集中させることは、直接SN比を高めることにつながることを次の例で示す。

2章で仮定した画像モデル（ 64×64 要素）に対し、 8×8 のブロックに分割し、余弦変換をする。得られた 8×8 の直流成分のブロックに対して、4bit/pelを割り当て、最適線形量子化器を用いて量子化し、SN比を(7)式より算出する。

$$\text{SNR} = 10 \log \frac{\sigma^2}{\epsilon^2} \dots \dots \dots (7)$$

σ^2 は各要素の分散値で、 ϵ^2 は量子化誤差である。

以上より、SNR=21.06 (dB) を得た。この直流成分のブロックに対して、更に二次元のブロック余弦変換を施す。再変換後の各要素に対して、平均して 4 bit/pel となるように、(8)式よりビット配分を算出し、最適線形量子化器により量子化する。その結果の SN 比を計算すると、SNR=25.68 (dB) となった。直流成分に関して、約 4.6 (dB) の SN 比の改善が得られた。

$$b_{u,v} = b_{ave.} + \frac{2}{\ln 10} \left(\ln \sigma_{u,v}^2 - \frac{1}{N^2} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} \ln \sigma_{u,v}^2 \right) \dots\dots\dots (8)$$

$b_{ave.}$ は一要素当りの平均割り当てビット数である。

再変換後のブロックに対して、平均 3 bit/pel を割り当てて量子化し、SN 比を計算すると、再変換前に 4 bit/pel を割り当てる場合とほぼ同様な SN 比が得られた。平均して、1 bit/pel が節約されたことになる。その他のブロックについても同様な効果が得られる。

一方、 $N^2 \times N^2$ の画像に対して、ブロック分割せずに直交変換を行なう場合に、高速余弦変換 (FDCT) を使用して、演算回数は、ほぼ、

$$T_1 = (2N^2 \cdot \log_2 2N^2) \cdot 2N^2 = 4N^4 \log_2 2N^2 \dots\dots\dots (9)$$

となる。それを $N \times N$ のブロックに分割し、それぞれのブロックについて二次元の FDCT を行なうと、演算回数は、

$$T_2 = (2N \cdot \log_2 2N) \cdot 2N \cdot N^2 = 4N^4 \log_2 2N \dots\dots\dots (10)$$

となって、ブロック分割により約半分に低減された。本論文の手法を用いる場合の演算回数は、

$$T_3 = 4N^4 \log_2 2N + (2N \cdot \log_2 2N) \cdot 2N + (2N \cdot \log_2 2N) \cdot N \cdot 2(N-1) \\ = 4N^4 \log_2 2N + 4N^3 \log_2 2N \dots\dots\dots (11)$$

$$\eta = \frac{T_3 - T_2}{T_2} = \frac{4N^3 \log_2 2N}{4N^4 \log_2 2N} = \frac{1}{N} \dots\dots\dots (12)$$

となって、従来のブロック余弦変換法より演算量は $1/N$ だけ増えたことになる。 $N \geq 16$ の場合には $\eta \leq 6.25\%$ となって、従来の方法に比べて、演算量の増加率は小さいことが分かる。

一般的に、ブロックのサイズが大きければエネルギーの集中度が高くなるが、演算量が倍増する。一方、ブロックサイズを小さくすると、前述の (0, 0) および (u, 0), (0, v) (u, v ≠ 0) の周波数成分のブロックのみならず、その他のブロックにも、無視できないほどの相関が残る。従って、全体として同様なエネルギーの集中効果を得るためには、演算量は低減できない。双方の兼ね合いから、ブロックのサイズは 8×8 または 16×16 程度が良いと思われる。

4. 実験結果

原画像として、 256×256 画素の濃度レベル 8 ビット (0 ~ 255) の胸部 X 線画像を用いた。直交関数としては余弦変換関数を用いた。ブロックのサイズを 16×16 画素に設定し、従来のブロック余弦変換法と本論文の 3 章で提案した“改良型ブロック余弦変換法”について、シミュレーションを行なった結果を図 3 ~ 図 7 に示す。

図 3 は原画像である。図 4 の (a) は従来のブロック余弦変換法によって 0.8 bit/pel に圧縮し、復元した画像である。(b) は原画像と復元画像との差分画像である。(b) から、ブロック効果および輪郭のボケがはっきりと認められる。図 5 の (a) は“改良型ブロック余弦変換法”によって、0.8 bit/pel に圧縮し、復元された画像である。(b) は原画像との差分画像である。図 4 の (b) と比較すると、ブロック効果が低減されたことが分かる。図 6 と図 7 は上と同様で、0.5 bit/pel に圧縮したもので

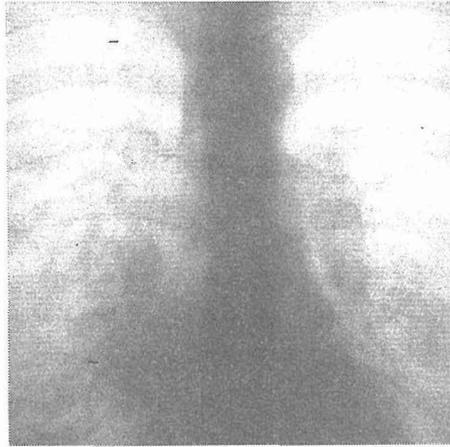
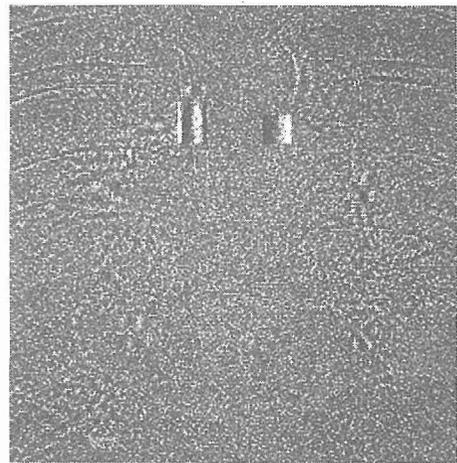


図3 原画像



(a)

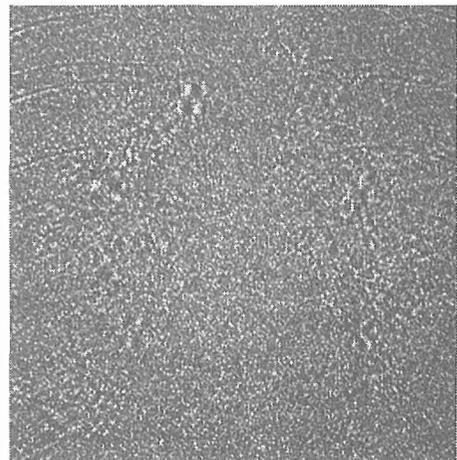


(b)

図4 従来のブロック直交変換による圧縮 (0.8 bit/pel)

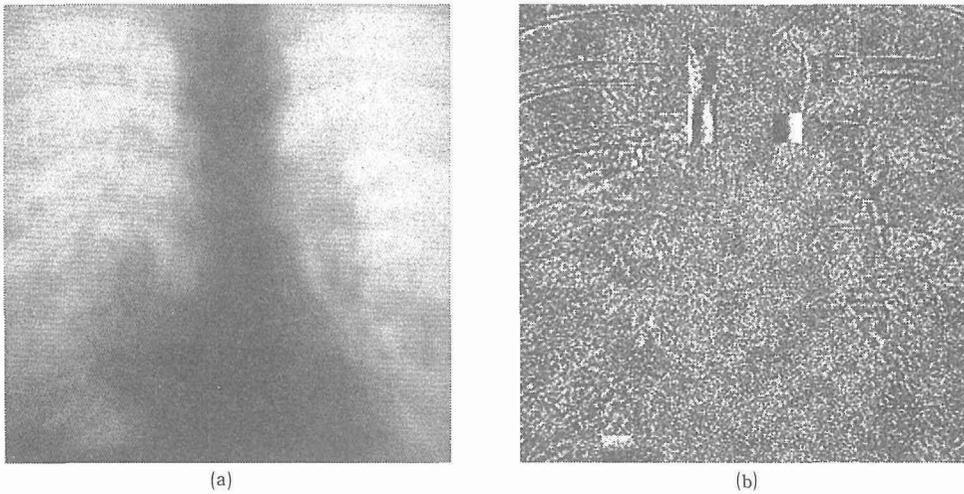


(a)

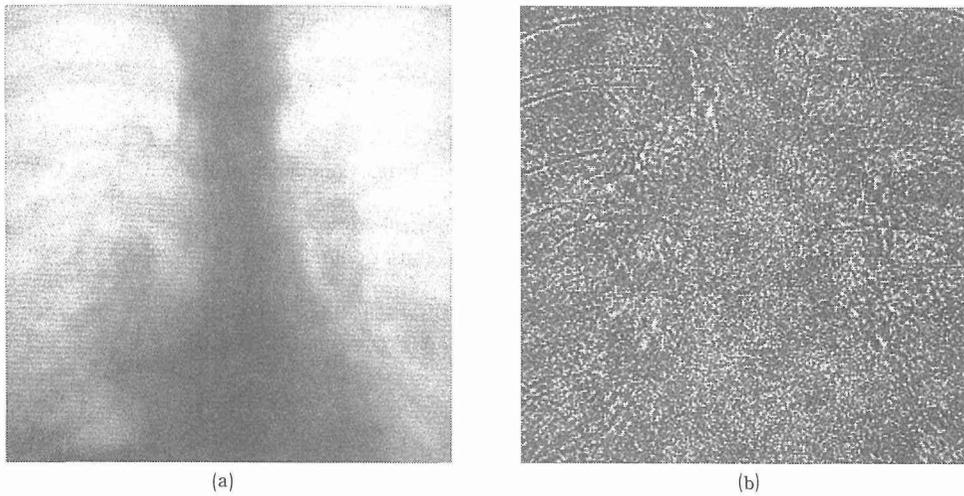


(b)

図5 改良型ブロック直交変換による圧縮(0.8bit/pel)



(a) (b)
 図6 従来のブロック直交交換による圧縮 (0.5 bit/pel)



(a) (b)
 図7 改良型ブロック直交交換による圧縮 (0.5 bit/pel)

TECHNIQUE	BIT/pixel	COMPRESSION RATE	SNR (dB)	MSE
Normal Block DCT	0.8	$\frac{1}{10}$	44.32	1.580
Modified Block DCT	0.8	$\frac{1}{10}$	45.08	1.498
Normal Block DCT	0.5	$\frac{1}{16}$	38.63	2.393
Modified Block DCT	0.5	$\frac{1}{16}$	40.14	2.167

表2 従来のブロック直交交換と改良型ブロック直交交換の比較

ある。同様な結果が見られる。図3と図4～図7の(a)では、濃度レベルが256段階である(黒は0で、白は255である)。図4～図7の(b)では濃度レベルが8段階で、黒は-2で、白は+5を示す。

表2に、実験によって得られたそれぞれの場合のSN比を示す。表2からSN比も改善されたことが分かる。

5. 結 び

画像データの圧縮は、できるだけ原画像の情報を落さずに、できるだけ多くのビット数を減らすことが目的であるが、残念ながら、両方の目的を達成することはかなり困難である。しかし、本論文で提案した手法を用いることによって、圧縮率を損なわずに、ブロック効果などの現象を低減させることに有効であることが示された。

直交変換法は、少ないエネルギーを持つ成分について、少ないビット数を割り当て、または、まったく割り当てないことによって、圧縮を実現させている。一般に、高周波成分は低エネルギーであるので、この圧縮法では、どうしても輪郭のボケなどの問題が生じる。より高画質を得るためには、それらの問題を解決しなければならないので、今後の研究課題としたい。

参考文献

- 1) J.W. Modestino, N.Farvardin, and M.A. Ogrinc : IEEE Trans. Commun, Vol. COM-33, No.3, MARCH 1985, pp.210~270.
- 2) A.K. Jain : Proc. IEEE Vol.69, No.3, MARCH 1981, pp.349~385.
- 3) J.W. Modestino, D.G. Daut and A.L. Vicker : IEEE Trans. Commun. Vol. COM-29, No.9, SEPTEMBER, 1981, pp.1261~1273.
- 4) R.J. CLARKE : Transform Coding of Images, ACADEMIC PRESS. (1985)
- 5) Azriel Rosenfeld and Avinash C. Kak : Digital Picture Processing, ACADEMIC PRESS. (1982)